

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-200697

(43)Date of publication of application : 18.07.2000

(51)Int.Cl.

H05H 1/46  
C23C 16/503  
C23F 4/00  
H01L 21/3065  
H05H 1/24  
// H01J 27/16

(21)Application number : 11-295958

(22)Date of filing : 18.10.1999

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD

(72)Inventor : NAKAMURA KOSUKE

SAWADA KOJI

KITAMURA KEIMEI

INOUE YOSHIMI

(30)Priority

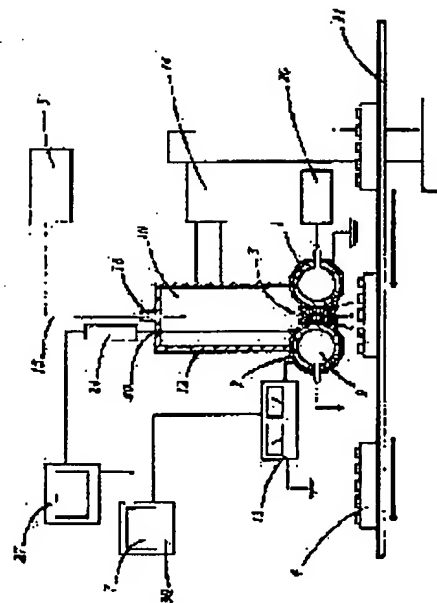
Priority number : 10304003 Priority date : 26.10.1998 Priority country : JP

## (54) PLASMA PROCESSING DEVICE AND PLASMA PROCESSING METHOD

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a plasma processing device prevented from causing streamer discharge and capable of efficient plasma processing a large area of material to be processed.

**SOLUTION:** This plasma processing device includes at least a pair of electrodes 1, 2, a gas supply means for supplying plasma generating gas into a discharge space defined between the electrodes and a power supply means 5 for applying AC voltage between the electrodes to generating plasma given from the plasma generating gas in the discharge space, at least one of the pair of electrodes 1, 2 having a curve protruded into the discharge space. The electrodes 1, 2 are preferably in a cylindrical structure and, it is particularly preferable that a cooling material supply means 20 is provided for supplying cooling material 9 into the cylindrical electrodes to thereby decrease the temperature of the electrodes during plasma processing.



## 全項目

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
(12)【公報種別】公開特許公報(A)  
(11)【公開番号】特開2000-200697(P2000-200697A)  
(43)【公開日】平成12年7月18日(2000. 7. 18)  
(54)【発明の名称】プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法  
(51)【国際特許分類第7版】

H05H 1/46  
C23C 16/503  
C23F 4/00  
H01L 21/3065  
H05H 1/24  
// H01J 27/16

## 【F1】

|             |   |
|-------------|---|
| H05H 1/46   | A |
| C23C 16/503 |   |
| C23F 4/00   | A |
| H05H 1/24   |   |
| H01J 27/16  |   |
| H01L 21/302 | B |

【審査請求】未請求

【請求項の数】20

【出願形態】OL

【全頁数】15

(21)【出願番号】特願平11-295958

(22)【出願日】平成11年10月18日(1999. 10. 18)

(31)【優先権主張番号】特願平10-304003

(32)【優先日】平成10年10月26日(1998. 10. 26)

(33)【優先権主張国】日本(JP)

(71)【出願人】

【識別番号】000005832

【氏名又は名称】松下電工株式会社

【住所又は居所】大阪府門真市大字門真1048番地

(72)【発明者】

【氏名】中村 康輔

【住所又は居所】大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)【発明者】

【氏名】澤田 康志

【住所又は居所】大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)【発明者】

【氏名】北村 啓明

【住所又は居所】大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)【発明者】

【氏名】井上 吉民

【住所又は居所】大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(74)【代理人】

【識別番号】100087767

【弁理士】

【氏名又は名称】西川 恵清 (外1名)

(57)【要約】

【課題】ストリーマー放電の発生を防ぐとともに、被処理物の大面積を効率良くプラズマ処理できるプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】このプラズマ処理装置は、少なくとも一対の電極と、電極間に定義される放電空間にプラズマ生成用ガスを供給するガス供給手段と、電極間に交流電圧を印加して、放電空間にプラズマ生成用ガスのプラズマを生成するための電力供給手段とを含むものであり、一対の電極の少なくとも一方は、その外表面に誘電体層を有し、一対の電極の少なくとも一方は、放電空間に突出する曲面を有することを特徴とする。電極は、円筒状構造であることが好ましく、特に、プラズマ処理中、電極温度を下げるために円筒電極の内部に冷却材を供給する冷却材供給手段を設けることが好ましい。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも一対の電極と、プラズマ生成用ガスを前記電極間に定義される放電空間に供給するガス供給手段と、前記電極間に交流電圧を印加して、前記放電空間にプラズマ生成用ガスのプラズマを生成するための電力供給手段とを含み、前記放電空間の下流側に配置された被処理物を前記プラズマで処理するためのプラズマ処理装置において、前記一対の電極の少なくとも一方は、その外表面に誘電体層を有し、前記一対の電極の少なくとも一方は、前記放電空間に突出する曲面を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 前記一対の電極の少なくとも一方に隣接して配置され、前記プラズマが放電空間から被処理物に向かって広がるようにプラズマを導くプラズマガイド部材を含むことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記プラズマガイド部材は、前記電極と一体に形成されることを特徴とする請求項2に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 前記一対の電極の少なくとも一方は、筒状電極であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 前記一対の電極の少なくとも一方は、円筒状電極であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 前記一対の電極は、一対の円筒状電極であり、一方の電極は、他方の電極に対して実質的に平行に延出することを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 前記放電空間に突出する曲面は、1～25mmの曲率半径を有することを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 プラズマ処理中、電極温度を下げるために、前記電極の内部に冷却材を供給する冷却材供給手段をさらに含むことを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 プラズマ処理中、電極温度を所定温度もしくはそれ以下に維持する制御手段をさらに含むことを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 前記所定温度は、250℃であることを特徴とする請求項9に記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】 前記電極の表面粗さは、算術平均粗さで10～1000 $\mu$ mであることを特徴とする請求項1乃至10のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項12】 前記誘電体層を有する前記電極は、ガラス質材料を電極材料上に融着することにより形成されることを特徴とする請求項1乃至11のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】 前記誘電体層を有する前記電極は、セラミック材料を電極材料上に溶射することにより形成されることを特徴とする請求項1乃至11のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】 前記誘電体層は、マグネシアもしくはマグネシアを含有する絶縁材料で形成されることを特徴とする請求項1乃至13のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項15】 前記プラズマ生成用ガスは、希ガス、希ガスの混合物、および希ガスと反応性ガスの混合ガスから選択されることを特徴とする請求項1乃至14のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項16】 前記被処理物を電極の下に搬送する搬送手段をさらに含むことを特徴とする請求項1乃至15のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項17】 個々の電極ペアが筒状構造を有する第1電極及び第2電極でなる複数の電極ペアと、プラズマ生成用ガスを隣接する第1電極と第2電極の間に定義される放電空間に供給するガス供給手段と、隣接する第1電極と第2電極の間に交流電圧を印加して、前記放電空間にプラズマ生成用ガスのプラズマを生成するための電力供給手段とを含み、前記放電空間の下流側に配置された被処理物を複数の前記電極ペア

間で生成されるプラズマで処理するためのプラズマ処理装置において、前記第1電極と第2電極は、前記第1電極の各々が隣接する前記第2電極に対して実質的に平行に延出するように互い違いに配置され、隣接する前記第1電極と第2電極の少なくとも一方は、その外表面に誘電体層を有し、隣接する前記第1電極と第2電極の少なくとも一方は、前記放電空間に突出する曲面を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項18】プラズマ処理中、電極温度を下げるために、前記第1電極及び第2電極の内部に冷却材を供給する冷却材供給手段をさらに含むことを特徴とする請求項17に記載のプラズマ処理装置。

【請求項19】前記電極間の放電空間にプラズマ生成用ガスを供給する工程と、前記電極間に交流電圧を印加して放電空間にプラズマ生成用ガスの大気圧プラズマを生成する工程と、前記大気圧プラズマで被処理物を処理する工程を含むことを特徴とする請求項1乃至16のいずれかに記載のプラズマ処理装置を使用して実施されるプラズマ処理方法。

【請求項20】前記第1電極と第2電極の間の放電空間にプラズマ生成用ガスを供給する工程と、前記第1電極と第2電極の間に交流電圧を印加して放電空間にプラズマ生成用ガスの大気圧プラズマを生成する工程と、前記大気圧プラズマで被処理物を処理する工程を含むことを特徴とする請求項17および18のいずれかに記載のプラズマ処理装置を使用して実施されるプラズマ処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被処理物の表面に存在する有機物等の異物の除去、レジストの剥離、有機フィルムの密着性改善、金属酸化物の還元、製膜、表面改質、液晶用ガラス基板の表面クリーニング等に使用できるプラズマ処理装置、およびこの装置を用いて実施されるプラズマ処理に関するものであり、精密な接合が要求される電子部品の表面クリーニング等に応用されるものである。

### 【0002】

【従来の技術】従来より、大気圧下でグロー放電を安定に生成し、このグロー放電により得られるプラズマを用いて、基板に表面処理が実施されている。例えば、特開平2-15171号公報、特開平3-241739号公報あるいは特開平1-306569号公報には、反応容器内の放電空間に一对の電極を設けるとともに、電極間に誘電体を配置して、He(ヘリウム)やAr(アルゴン)等の希ガスを主成分とするプラズマ生成用ガスで放電空間を満たし、電極間に交流電圧を印加してプラズマ生成用ガスのプラズマを生成し、反応容器内に置かれた被処理物をこのプラズマで処理するプラズマ表面処理が開示されている。

【0003】しかし、この方法には、被処理物の特定領域のみにプラズマ処理を施すことが困難であり、処理時間も長くなるという問題がある。そこで、大気圧下でグロー放電により生成したプラズマ(特にプラズマの活性種)ジェットを使用して被処理物をプラズマ処理することが提案されている。例えば、特開平4-358076号公報、特開平3-219082号公報、特開平4-212253号公報、特開平6-108257号公報等に種々の方法が開示されている。

### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】特開平3-219082号公報、特開平4-212253号公報および特開平6-108257号公報に記載されている方法は、ノズル状の反応管からプラズマを被処理物に噴射するものである。しかし、これらの方法には以下の点で改善の余地がある。

- (1)処理範囲が小さいので、大面積を処理するには不適である。
- (2)放電空間を小さくすると、放熱性が低下し、反応管の内部が高温になるため、被処理物が熱ダメージを受けやすい。また、放電空間を大きくすると、処理効率が低下する。
- (3)反応管の内部が高温になると、電極間あるいは反応管と被処理物の間にストリーマー放電(アーク放電)が発生しやすく、均質なプラズマ処理を安定して提供するのに不適である。

【0005】また、特開平4-358076号公報は、平板電極間に配置された誘電体板を具備するプラズマ処理装置について開示している。このものにおいては、装置が大型化するという問題だけでなく、以下に述べる理由により高いプラズマ密度を得ることが困難で、処理速度が遅いという問題がある。すなわち、大面積の平板電極であるので、プラズマの単位体積当たりのパワーが小さくなる。印加電力を大きくすることにより、プラズマ密度を改善できるが、電極温度が上昇し、被処理物が熱ダメージを受けたり、電極が破損したり、ストリーマー放電が発生するおそれがある。また、誘電体板を平板電極上に配置する方法においては、構造上の問題から誘電体の厚みを薄くすることが難しい。構造上の問題としては、例えば、誘電体としてガラス板を平板電極上に配置する場合、ガラス板の強度が低い為に1mm以下の厚みのガラス板を大面積にわたって電極に密着させることは困難である。また、セラミック板を誘電体として使用する場合、十分な強度を有するとともに厚みの薄いセラミック板を製造できるが、平板電極に対応する大面積を有するセラミック板を製造す

ることが困難である。また、ガラス板と同様、電極との密着性の確保も難しい。結果的に、印加電力に対して誘電体部分での電圧降下が無視できず、プラズマの単位体積当たりの電力を増加させるのが困難であった。

【0006】

【課題を解決するための手段】したがって、本発明は上記点に鑑みてなされたものであり、ストリーマー放電の発生を防止するとともに、放電空間の下流側に配置された被処理物の大面積を効率良くプラズマ処理できるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。本発明のプラズマ処理装置は、少なくとも一對の電極と、電極間に定義される放電空間にプラズマ生成用ガスを供給するガス供給手段と、電極間に交流電圧を印加して、放電空間にプラズマ生成用ガスのプラズマを生成するための電力供給手段とを含むものであり、一對の電極の少なくとも一方は、その外表面に誘電体層を有するとともに、一對の電極の少なくとも一方は、放電空間に突出する曲面を有することを特徴とするものである。

【0007】放電空間に突出する曲面を有する電極を使用することは、ストリーマー放電を防止しながら、少ない電力で大きなプラズマ密度を得るのに効果的である。すなわち、先端の尖ったエッジ部を有する電極を放電空間内に突出させた場合、プラズマ密度を大きくできるが、そのようなエッジ部には不平等電界に基づくストリーマー放電(アーク放電)が発生しやすい。一旦、ストリーマー放電が発生すると、プラズマ(グロー放電)が不安定になるためにプラズマ処理を継続できなくなる。また、ストリーマー放電が電極と被処理物との間に発生した場合、被処理物が重大な損傷を受ける恐れがある。電極の曲面を放電空間内に突出させることにより、ストリーマー放電の発生を防止しながら、プラズマ密度を大きくできるのである。放電空間に突出する曲面の曲率半径は、1~25mmであることが特に好ましい。

【0008】また、本発明のプラズマ処理装置は、上記の構成に加えて、一對の電極の少なくとも一方に隣接して配置され、プラズマが放電空間から被加工物に向かって広がるようにプラズマを導くプラズマガイド部材を含むことが好ましい。また、プラズマガイド部材は、電極と一体に形成されることも好ましい。プラズマガイド部材は、大面積の被処理物をより効率よくプラズマ処理するのに有効である。

【0009】また、本発明のプラズマ処理装置の一對の電極の少なくとも一方は、筒状電極、特に円筒状電極であることが好ましい。また、本発明のプラズマ処理装置は、上記の構成に加えて、プラズマ処理中、電極温度を下げるために、電極の内部に冷却材を供給する冷却材供給手段を含むことが好ましい。後述するように、電極の表面温度を下げることは、ストリーマー放電の防止に効果的である。

【0010】本発明のさらなる目的は、上記プラズマ処理装置を用いて実施されるプラズマ処理方法を提供することである。すなわち、本発明のプラズマ処理方法は、電極間の放電空間にプラズマ生成用ガスを供給する工程と、電極間に交流電圧を印加して放電空間にプラズマ生成用ガスの大気圧プラズマを生成する工程と、大気圧プラズマで被処理物を処理する工程とを含むことを特徴とする。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好ましい実施の形態を説明する。

【0012】図1に示すように、本発明のプラズマ処理装置は、プラズマ3を生成するプラズマ発生器10、制御手段7、被処理物を搬送するための搬送手段11を具備している。プラズマ発生器10は、一對の円筒(パイプ状)電極1、2、ガス供給容器12、ガス供給ユニット5、交流電源13、冷却材供給ユニット20、電極温度測定ユニット24、および支持部材14等で構成されている。

【0013】図2および図3に示すように、円筒電極1、2は、電極1が電極2に対して実質的に平行に延出するとともに、所定距離dによって互いから離れて配置される。この電極間の空間が放電空間22として定義される。電極1と電極2との間の距離dは、0.1~5mmとすることが好ましい。電極1は接地され、電極2は交流電源13に接続される。本装置においては、電極1および2の両方が放電空間22に突出する曲面Rを有する。この曲面Rの曲率半径は、1~25mmに設定するのが好ましい。曲率半径が1mm未満であると、放電空間が小さくなり、プラズマ3を効率良く生成することができなくなる恐れがある。一方、曲率半径が25mmを超えると、放電空間22から被処理物4に向かって広がるようにプラズマ3を吹き出すことができない恐れがある。そのような場合、被処理物4の大面積を効率良くプラズマ処理するのが難しくなる。電極1、2の放熱性を向上させてグロー放電の均一化を図るために、電極1、2を、熱伝導性の高い材料で作成することが好ましい。具体的には、銅、アルミニウム、真鍮、耐食性の良いステンレス鋼等を使用できる。

【0014】電極の外表面の表面粗さは、算術平均粗さで10~1000 $\mu$ mに設定することが好ましい。表面粗さを $Y=f(x)$ の形に表した場合の算術平均粗さ $Ra(\mu$ m)は、JIS B 0601で以下の式(1)によって定義される。

【0015】

【数1】

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx \quad (1)$$

lは電極の長さを示す

【0016】表面粗さが10 $\mu$ m未満であると、プラズマ(グロー放電)3が生成しにくくなる恐れがあり、表面粗さが1000 $\mu$ mを超えると、プラズマ3が不均一になる恐れがある。表面粗さの上記範囲が、グロー放電の均一化を図る上で最適である。これは、非常に微細なマイクロディスチャージの集合体が形成され、アーク放電の発生が防止されるためであると考えられる。電極1, 2の表面を粗面化するために、例えば、サンドブラストなどの物理的手段を採用することができる。

【0017】図1の装置においては、電極1, 2の各々は外表面に誘電体層6を有する。誘電体層6は、放電空間22におけるプラズマ3の低温化にとって重要な要素である。誘電体層6は、誘電率が2000もしくはそれ以下の絶縁性材料で作成されるのが好ましい。誘電率が2000を超えると、電極間に印加される電圧が大きくなるが、プラズマの温度上昇を引き起こす恐れがある。誘電率の下限値に関して限定はないが、例えば、2程度である。誘電率が2よりも小さいと、放電を維持するために電極間に印加する交流電圧を増加させる必要がある。この場合、放電空間における電力消費量が増加して、プラズマの温度上昇を引き起こす可能性がある。電極1, 2のいずれか一方が誘電層を有する時は、誘電体層6を有する電極を交流電源13に接続することが好ましい。

【0018】グロー放電の安定化を図る上で、二次電子放出係数の大きい材料の単体、もしくはその混合物で誘電体層を作成することが好ましい。二次電子放出係数の高い材料としては、たとえば、MgO, MgF<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>, LiF等が挙げられる。特に、安定性の点でMgO(マグネシア)の使用が好ましい。これら二次電子放出係数の大きい材料を使用すると、プラズマ中のイオンが誘電体層6の表面に衝突した場合、多量の二次電子が放出され、放電の安定化に寄与する。マグネシアを含む誘電体材料の製造方法を例示すると、アルミナ等のセラミック粉末中に微量(0.01~5体積%)のマグネシアを添加して焼結する方法、アルミナなどのセラミック粉末中に微量(0.01~5体積%)のマグネシアを混合して電極表面に溶射する方法、アルミナや石英等の誘電体材料の表面にスパッタ、電子ビーム蒸着、溶射等でMgO被膜を形成する方法が挙げられる。

【0019】誘電体層6を有する電極1, 2は、例えば、以下の方法により製造することができる。まず、絶縁材料で第1の円筒を作成し、上記した電極材料で作成した第2の円筒を第1の円筒の内表面に密着させればよい。また、アルミナ、マグネシア、チタン酸バリウム、PZT等の粉末をプラズマ中に分散させ、電極材料で作成した円筒の外表面に吹き付けるプラズマ溶射法を採用しても良い。さらに、ソルゲル法によるガラス質膜の形成方法を採用することもできる。

【0020】以下に述べる融着法により誘電体層を有する電極を製造することが特に好ましい。この方法においては、シリカ、マグネシア、酸化スズ、チタニア、ジルコニア、アルミナ等の無機材料を主成分とするガラス質材料のフリットを溶媒中に分散させる。次いで、電極材料をフリット分散溶媒中に浸漬したり、スプレーガン等の使用によりフリットを電極材料上に吹き付けて電極材料上にガラス質材料の被膜を形成する。得られた被膜を480~1000℃、3~15分間加熱して、ガラス質材料の被膜を電極材料に融着する。所望の厚さを有する誘電体層6を得るために、上記操作を繰り返し行っても良い。この融着法は、厚みの薄い誘電体層を作成しやすく、セラミック溶射法によって形成した誘電体層にしばしばみられるようなピンホールの発生が少ないという長所がある。このように、融着法により形成された誘電体層6は、グロー放電の均一化を図る上で好適である。

【0021】誘電体層の厚さは、0.1~2mmであることが好ましい。厚さが0.1mm以下であると、誘電体層の耐電圧が低下する。さらに、クラックや剥離が発生しやすく、グロー放電の均一性を維持するのが困難になる恐れがある。厚さが2mmを超えると、耐電圧が高くなりすぎて、やはりグロー放電の均一性を維持するのが困難になる恐れがある。

【0022】ガス供給容器12は、ガス導入口16とガス導出口17を有する。プラズマ生成用ガスを供給するガス供給ユニット5は、ガス供給ライン15を介してガス導入口16に接続される。ガス供給容器12の奥行き寸法Lは電極の長さと同様である。ガス供給体の高さHは、プラズマ生成用ガスの安定した流れをガス導出口17から提供するのに最適な長さとして好ましい。ガス供給容器12の幅寸法Wは、電極1, 2の中心間距離に実質的に等しく、それにより電極間の放電空間22を跨ぐようにガス供給容器12を配置することができる。図3に示すように、ガス供給容器12は、プラズマ生成用ガスがガス供給容器12の内部から放電空間22に流れるように電極に固定される。電極に固定されたガス供給容器12は、図1に示すように、支持部材14によって保持される。

【0023】冷却材供給ユニット20は、冷却材タンクおよび冷却材を汲み上げるためのポンプを具備している。



冷却材9は、純水やイオン交換水を用いることができるが、電気絶縁性および0℃で不凍性を有することがより好ましい。また、冷却材は、電気絶縁性として0.1mm間隔での耐電圧が10kV以上であることが好ましい。このような絶縁性を有する冷却材は、高電圧が印加される電極からの漏電を防ぐのに好適である。上記特性を有する冷却材9としては、例えば、パーフルオロカーボン、ハイドロフルオロエーテル、あるいは純水にエチレングリコールを5～60重量%添加した混合液を使用することができる。

【0024】図3に示すように、電極1、2の各々の両端は閉じられている。冷却材供給管21は、その一端でポンプに接続され、冷却材供給管21の他端は、電極1の一端部に接続される。これにより、冷却材が電極1の内部に供給される。冷却材流通管33の一端は、電極1の他端部に接続され、冷却材流通管33の他端は、電極2の一端部に接続される。これにより、電極1の内部から電極2の内部に冷却材9を送ることができる。冷却材排出管23の一端は、電極2の他端部に接続され、冷却材排出管23の他端が冷却材タンクに接続される。したがって、冷却材を循環させて電極1、2を冷却することができる。電極間の絶縁性を維持するために、冷却材流通管33を絶縁材料で形成することが好ましい。

【0025】電極の表面温度を測定するための電極温度測定ユニット24として、赤外線放射温度計を使用することが好ましい。図1及び図2において、番号40は、ガス供給容器12の上面に設けられた赤外線透過窓40を示す。測定された電極温度はモニター27上に表示されるとともに、後述する制御手段7のマイクロコンピュータ30に送られる。赤外線放射温度計の代りに、熱電対のような温度センサーを使用しても良い。

【0026】搬送手段11としては、例えば、ベルトコンベヤーを使用することができる。ベルトコンベヤーの使用により連続的に被処理物4をプラズマ処理できる。コンベヤーユニット11は、制御手段7により制御される。本発明を工業的な規模で応用するにあたっては、プラズマ処理装置のさらなる処理効率の改善のために、搬送手段11を使用することが好ましい。

【0027】制御手段7は、マイクロコンピュータ(パーソナルコンピュータ)30で構成され、電極温度測定ユニット24から出力される電極の表面温度をモニターするとともに、電極に印加される交流電圧の大きさ、および被処理物の搬送速度等を制御する。また、冷却材を汲み上げるためのポンプもこの制御手段7により制御可能である。例えば、測定された電極温度が、所定の制御温度よりも高い場合、マイクロコンピュータ30は、冷却材の流量を増やすように制御信号をポンプに送る。また、制御手段の信号に基づいて冷却材温度を下げる冷却手段を採用しても良い。

【0028】次に、上記プラズマ装置を使用して実施されるプラズマ処理方法について説明する。

【0029】まず、プラズマ生成用ガスがガス供給ユニット5からガス供給容器12に供給される。本発明に使用されるプラズマ生成用ガスは、不活性ガス(希ガス)、あるいは不活性ガスと反応性ガスの混合ガスを用いることができる。不活性ガスとしては、ヘリウム、アルゴン、ネオン、キセノン等を使用することができる。放電の安定性と経済性を考えると、ヘリウム、アルゴンもしくはアルゴンとヘリウムの混合ガスを使用することが好ましい。アルゴンとヘリウムの混合比率は、電極の表面温度と密接に関係する。例えば、電極の表面温度が250℃あるいはそれ以下にする場合、アルゴンを90重量%以下にすることが好ましい。90重量%を超えると、ストリーマー放電の発生頻度が増加する恐れがある。

【0030】反応ガスは、プラズマ処理の目的に応じて任意に選択される。例えば、被処理物の表面に存在する有機物のクリーニング、レジストの除去、有機材料フィルムのエッチング等を行う場合、酸素、空気、二酸化炭素、水蒸気、 $N_2O$ 等の酸化性ガスを使用することが好ましい。また、シリコンなどのエッチングを行う場合は、 $CF_4$ 等のフッ素系ガスを用いるのが効果的である。また、金属酸化物の還元を行う場合は、水素やアンモニアなどの還元性ガスを用いることができる。一例として、反応ガスの添加量は、不活性ガスに対して10重量%以下、より好ましくは0.1～5重量%である。上記処理において、反応性ガスによる被処理物表面の酸化やフッ素化が問題になる場合は、不活性ガスのみを使用してプラズマ処理を行っても良い。

【0031】プラズマ生成用ガスは、ガス導出口17を介して電極間の放電空間22に供給される。プラズマ3は、交流電圧を電極に印加することにより生成される。本発明のプラズマ処理装置においては、交流電源の周波数を、50Hz～200MHz、特に1kHz～200MHzの範囲内に設定することが好ましい。周波数が、50Hz未満であると、安定した放電を維持するのが困難になる恐れがある。一方、周波数が200MHzを超えると、プラズマ温度の上昇が顕著になる。

【0032】また、本発明のプラズマ処理装置を使用してプラズマ処理を実施する場合、特に限定しないが、プラズマの単位体積当たりの電力が10～10000W/cm<sup>3</sup>で、プラズマ3の流速が20～10000cm/秒であることが好ましい。上記条件を逸脱した場合、プラズマ処理が不完全であったり、被処理物に熱的なダメージを与える恐れがある。したがって、交流電圧の大きさ、プラズマ生成ガスの供給量や供給速度を上記範囲に入るように調節することが好ましい。

【0033】プラズマ処理中、電極の表面温度を、250℃以下、より好ましくは200℃以下に保つことが好ましい。電極の表面温度が250℃を超えると、ストリーマー放電が放電空間22に生成される恐れがある。電極

の表面温度の下限値に関して限定はない。例えば、下限値は0℃であっても良い。換言すれば、冷却材9が凍結しない温度であればよい。また、空冷により電極1、2を十分に冷却できる場合は、冷却材を使用する必要はない。

【0034】ところで、ストリーマー放電(アーク放電)の発生原因の一つは、プラズマによる電極温度の上昇にあると考えられている。本発明のプラズマ処理において、プラズマ3は、プラズマ生成用ガスの大気圧付近の圧力で生成される。このプラズマ3中では、ガス粒子が絶えず衝突を繰り返している。減圧プラズマと比較して、大気圧プラズマにおいては平均自由行路が短い。これは、大気圧プラズマ中においてガス粒子の衝突頻度が高いことを意味する。衝突頻度が高くなると、プラズマ温度は上昇する。また、プラズマ中のガス粒子の衝突頻度は、交流電源の周波数にも密接に関係する。周波数が高くなるにつれて、プラズマ処理に好適なラジカルやイオンの量は増加するが、プラズマ温度は上昇し、結果的に、電極の表面温度も上昇する。特に、プラズマに曝されている電極表面の温度上昇は顕著である。この温度上昇は、電極表面から局所的な電子の放出を招き、それが原因となってストリーマー放電が発生すると考えられている。一旦、ストリーマー放電が生じると、プラズマ(グロー放電)が不安定になり、プラズマ処理を継続することができない。電極と被処理物の間にストリーマー放電が発生した場合は、ストリーマー放電が被処理物の表面に重大な損傷を及ぼす恐れがある。また、ストリーマー放電により、電極材料の一部が蒸発して、被処理物に蒸着されるという問題もある。

【0035】本発明の図1のプラズマ処理装置においては、ストリーマー放電の発生を防ぐために、放電空間22に突出する曲面Rを有する円筒電極1、2を使用するとともに、電極内部に冷却材9を供給する冷却材供給ユニット20が、電極の表面温度を下げ、電極表面からの局所的な電子放出を防ぐために設けられている。したがって、プラズマ処理中、均一なグロー放電を安定に維持することができるのである。

【0036】また、円筒状の電極1、2を使用しているので、電極間の距離を狭めることによりプラズマの単位体積あたりの電力(プラズマ密度)を大きくできるとともに、図4Aの矢印で示されるように、円筒電極の外周面に沿って放電空間22から下側に広がるプラズマ3のジェット(プラズマ流)を生成できる。被処理物4をこの高いプラズマ密度を有する拡張されたプラズマジェット3で処理することにより、処理効率を改善することができる。これに対して、図4Bに示すように、平板状電極1S、2Sを使用した場合、狭い幅のプラズマジェット(プラズマ流)3Sが電極間の放電空間22Sから提供されるにすぎない。また、前述したように、相対的にプラズマの単位体積あたりの電力を大きくすることが困難である。したがって、被加工物4Sの処理領域が制限されてしまう。図4Aにおいて、番号6Sは誘電体板を示す。

【0037】電極構造の第1変更例として、図5に示すように、断面が略三角形の一对の筒状電極(1A、2A)を使用しても良い。電極は、電極1Aの底面が、電極2Aの底面と同一平面上にあるように配置される。また、電極1Aは、電極2Aに対して実質的に平行に配置されている。放電空間22は、電極1A、2Aの対向する頂点部の間に定義される。この頂点部の各々には、曲面Rが設けられ、これらの曲面Rが放電空間22内に突出している。放電空間に突出する曲面Rは、1~25mmの曲率半径を有することが好ましい。電極の内部には、冷却材9を循環させる。また、電極の各々は、最表面にアルミナの誘電体層6を有する。電極の下部には、断面が三角形の一对のプラズマガイド部材50が設けられ、プラズマ拡散ゾーン35を形成している。このプラズマ拡散ゾーン35は、プラズマ3が放電空間22から被加工物4に向かって広がるようにプラズマを導くためのものである。円筒電極(1、2)を使用している図1のプラズマ処理装置においては、円筒電極それ自体の構造により、プラズマが放電空間から被処理物に向かって広がるように導かれる。換言すれば、電極の各々は、プラズマガイド部材の役割を担うプラズマガイド部を兼ね備えている。放電空間22内に生成されたプラズマ3は、プラズマガイド部、すなわち円筒電極の外表面の一部に沿って広がり、被加工物4に到達する。図4において、番号35は、電極の下に形成されるプラズマ拡散ゾーンを示す。

【0038】電極構造の第2変更例として、図6に示すように、断面が略三角形の一对の電極(1B、2B)を使用することができる。尚、図6に示すように、電極が配置される場合、プラズマガイド部材を別途設けることなく、電極の下にプラズマ拡散ゾーン35を形成することができる。

【0039】電極構造の第3変更例として、図7に示すように、断面が矩形形状である第1電極1Cと断面が楕円形状の第2電極2Cを使用しても良い。この場合、第2電極2Cの曲面Rと第1電極1Cの平坦面の間に放電空間22が形成される。また、平坦表面上に突出する略半球状表面を有する少なくとも一つの電極を使用し、略半球状表面が放電空間に突出するように電極を配置しても良い。

【0040】また、図8に示すようなプラズマ発生器10を使用することも好ましい。このプラズマ発生器は、個々の電極ペアが円筒構造を有する電極1及び電極2でなる複数の電極ペア、及びガス導入口16を有するガス供給容器12を具備している。複数の電極1と電極2は、電極1の各々が隣接する電極2に対して実質的に平行に延出するように互い違いに配置される。電極1は隣接する電極2から距離dによって離されており、電極間に放電空間22が定義される。すべての電極2は、交流電源に接続され、すべての電極1は接地される。電極1、2は、その外表面に誘電体層6を有する。また、隣接する電極1、2の各々の外周曲面は、放電



空間22内に突出している。プラズマ生成用ガスがガス導入口16を介してガス供給容器12の内部に供給され、電極間に交流電圧を印加することにより、複数のプラズマ3が生成される。

【0041】図9は、複数のプラズマで被処理物処理するためのプラズマ処理装置の概略断面図である。電極1、2は、インライン型扉63を両端に有する処理容器60内に配置されている。インライン型扉の代りにシャトル型扉を使用しても良い。すべての電極2は、交流電源13に接続され、すべての電極1は接地される。図中、番号61は、プラズマ生成用ガスを処理容器60内に供給するためのガス供給口を示す。番号62は、ガス排出口を示す。番号11は、被処理物4の搬送手段(ローラー)を示す。番号65は、邪魔板を示す。邪魔板65は、プラズマ生成用ガスを選択的に電極間の放電空間22に供給するのに役立つ。電極1及び電極2の内部には、プラズマ処理中、電極温度を下げるために冷却材9を循環させる。プラズマ生成用ガスがガス供給口61を介して処理容器60内に供給され、電極間に交流電圧を印加することにより、複数のプラズマ3が生成される。この装置の使用により、被処理物4は、複数のプラズマ3で処理されるので、1度に被処理物のより広い面積(より広い範囲)を処理するのに効果的である。その他の構成は、図1のプラズマ処理装置と実質的に同じである。

【0042】図10に図9のプラズマ処理装置の変更例を示す。この処理装置においては、スリット67を有するインライン型扉63を両端に有する処理容器60を使用している。スリット67を介して被処理物4を処理容器60内に供給、あるいは処理容器から取り出すことができる。図中、番号64は、緩和室を示す。緩和室は、処理容器から流出して放散されるプラズマ生成用ガスの量を少なくするとともに、処理容器内への外気の流入を最小化するのに有用である。その他の構成は、図9の処理装置と実質的に同じである。

【0043】<実施例1> 図1に示すプラズマ処理装置を使用して、プラズマ処理を実施した。誘電体層6として厚さ200  $\mu\text{m}$ のアルミナ層を有するステンレス鋼製パイプを電極1、2として使用した。電極の平均表面(周表面)粗さは、10  $\mu\text{m}$ である。誘電体層は、セラミック溶射法により作成した。電極間距離は、1mmである。電極1、2の各々の曲面Rの曲率半径は、5mmである。被処理物4としては、シリコンウエハーに厚さ1  $\mu\text{m}$ のネガ型レジスト(東京応化製のOMR-83)を塗布して形成したものを使用した。プラズマ生成用ガスとしては、ヘリウム、アルゴンおよび酸素の混合ガスを使用した。ヘリウムの流量は、2リットル/分であり、アルゴンの流量は、7リットル/分であり、酸素の流量は、50cc/分である。

【0044】電極1を接地し、電極2を周波数が13.56MHzの交流電源13に接続した。電極間に交流電圧(印加電力:1000W)を印加することにより大気圧プラズマ3を生成させた。このプラズマ3を使用して被処理物4にエッチング処理を実施した。電極の表面温度は、プラズマエッチング処理中、赤外放射温度計(CHINO製)により測定した。電極の表面温度は、250°Cであった。プラズマの単位体積当たりの電力は、400W/ $\text{cm}^3$ であり、また、プラズマエッチング処理により被処理物4からレジストを完全に剥離させるのに要した時間を測定した。測定結果より、レジストエッチング速度は、1.5  $\mu\text{m}$ /分であった。処理後、被処理物上に熱的ダメージやストリーマー放電による損傷は観察されなかった。本実施例の実験条件および評価結果を表1に示す。

【0045】<実施例2> 表1に示す条件を採用したことを除いて、図1のプラズマ処理装置を使用して、実施例1と実質的に同じ方法に基づいてプラズマ処理を実施した。本実施例においては、プラズマ処理中、冷却材9としてイオン交換水を電極内部に循環させた。プラズマ処理後、被処理物上に熱的ダメージやストリーマー放電による損傷は観察されなかった。評価結果を表1に示す。

【0046】<実施例3> 表1に示す条件を採用したことを除いて、図1のプラズマ処理装置を使用して、実施例1と実質的に同じ方法に基づいてプラズマ処理を実施した。本実施例においては、アルミナとマグネシア(MgOの含有量は5体積%)の混合物を誘電体層6として使用した。また、誘電体層6は、セラミック溶射法により厚さが700  $\mu\text{m}$ になるように形成された。プラズマ処理中、冷却材9としてHFE-7100(住友スリーエム製)を電極内部に循環させた。プラズマ処理後、被処理物上に熱的ダメージやストリーマー放電による損傷は観察されなかった。評価結果を表1に示す。

【0047】<実施例4> 表1に示す条件を採用したことを除いて、図1のプラズマ処理装置を使用して、実施例1と実質的に同じ方法に基づいてプラズマ処理を実施した。本実施例においては、シリカ、マグネシア、チタニア、ジルコニアおよびアルミナを主成分とする珪瑯を誘電体層6として使用した。また、誘電体層6は、融着法により厚さが1000  $\mu\text{m}$ になるように形成された。プラズマ処理後、被処理物上に熱的ダメージやストリーマー放電による損傷は観察されなかった。評価結果を表1に示す。

【0048】

【表1】

|               |   | 実施例             |   |   |                     |
|---------------|---|-----------------|---|---|---------------------|
| 電極            | 電極材料                                    | 1               | 2   | 3   | 4                   |
|               | 誘電体層の材料                                 | ステンレス鋼<br>パイプ溶射 | 銅パイプ<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 溶射 | ステンレス鋼<br>パイプ<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> とMgOの<br>混合物の溶射 | アルミニウム<br>パイプ<br>珪藻 |
|               | 平均表面粗さ Ra(μm)                           | 10              | 20  | 100   | 100                 |
|               | 誘電体層の厚さ (μm)                            | 200             | 500                                       | 700   | 1000                |
|               | 電極間距離 (mm)                              | 1               | 1   | 0.5   | 1                   |
|               | 曲面Rの曲率半径 (mm)                           | 5               | 10  | 20  | 10                  |
| 冷却材           |   | 使用せず            | イオン交換水                                    | HFE7100   | 使用せず                |
| プラズマ<br>生成用ガス | He 流量 (リットル/分)                          | 2               | 6   | 1   | 0.5                 |
|               | Ar 流量 (リットル/分)                          | 7               | 18  | 1   | 3                   |
|               | O <sub>2</sub> 流量 (cc/分)                | 50              | 100                                       | 50  | 10                  |
| プラズマ<br>生成条件  | 交流電源の周波数 (MHz)                          | 13.56           | 60  | 60  | 60                  |
|               | 印加電力 (W)                                | 1000            | 500                                       | 400   | 400                 |
|               | 電極温度 (°C)                               | 250             | 150                                       | 60  | 100                 |
|               | プラズマの単位体積当たりの電力<br>(W/cm <sup>3</sup> ) | 400             | 50  | 15  | 40                  |
| 評価結果          | レジスト除去速度 (μm/分)                         | 1.5             | 2.5                                       | 3.5   | 3.0                 |
|               | ストリーマー放電による損傷の有無                        | なし              | なし  | なし  | なし                  |

【0049】＜実施例5＞図1に示すプラズマ処理装置を使用して、プラズマ処理を実施した。誘電体層6として厚さ200μmのチタニア層を有するステンレス鋼製パイプを電極1、2として使用した。電極の平均表面(周表面)粗さは、20μmである。誘電体層6は、セラミック溶射法により作成した。電極間の距離は、1mmである。電極1、2の各々の曲面Rの曲率半径は、10mmである。プラズマ処理中、冷却材9としてフリナートFC-77(住友スリーエム製)を電極内部に循環させた。プラズマ生成用ガスとしては、ヘリウム、アルゴンおよび酸素の混合ガスを使用した。ヘリウムの流量は、3リットル/分であり、アルゴンの流量は、9リットル/分であり、酸素の流量は、100cc/分である。本実施例においては、被処理物4として、プラスチックBGA(ボールグリッドアレイ)基板(50x200mm)を使用した。この基板は、0.5mm厚のBT(ビスマレイミドトリアジン)レジンに厚さ40μmのレジスト(太陽インキ製、"PSR-4000AUS5")被膜を形成することにより得られる。このBGA基板は、金メッキ部分を有し、ICチップを搭載している。尚、被処理物をコンベヤー11の使用により2cm/秒の搬送速度で搬送した。

【0050】電極1を接地し、電極2を周波数が13.56MHzの交流電源13に接続した。電極間に交流電圧(印加電力:1000W)を印加することにより大気圧プラズマ3を生成させた。電極の表面温度は、プラズマエッチング処理中、赤外放射温度計により測定した。電極の表面温度は、200°Cであった。プラズマの単位体積当たりの電力は、200W/cm<sup>3</sup>であった。

【0051】本実施例においては、以下の評価試験を実施した。まず、プラズマ処理前にレジスト上における水の接触角を測定した。この時の接触角は80度であった。そして、プラズマ処理後においても同様に接触角を測定した。この時の接触角は8度であった。次に、プラズマ処理なしのBGA基板(水の接触角:80度)の金メッキ部とICチップとの間にワイヤーボンディングを形成し、そのボンディング強度を測定した。この時のボンディング強度は、5gであった。同様に、プラズマ処理を施したBGA基板(水の接触角:8度)の金メッキ部とICチップとの間にワイヤーボンディングを形成し、その時のボンディング強度を測定した。この時のボンディング強度は8gであった。このように、プラズマ処理によりボンディング強度を改善できた。

【0052】さらに、封止樹脂(松下電工株式会社製、"パナシーラーCV8100Z")を上記の未処理BGA基板およびプラズマ処理BGA基板の上に175°Cでドーム形状(底面の直径は11.3mm)に成形した。未処理BGA基板上の封止樹脂のせん断剥離強度は、11MPaであったが、プラズマ処理したBGA基板上の封止樹脂のせん断剥離強度は、20MPaであった。このように、プラズマ処理により剥離強度を改善できた。本実施例の実験条件および評価結果を表2に示す。

【0053】＜実施例6＞表2に示す条件を採用したことを除いて、図1のプラズマ処理装置を使用して、実施例6と実質的に同じ方法に基づいてプラズマ処理を実施した。本実施例においては、被処理物として金メッキ部を有するとともにICチップを積載している銅系リードフレーム基板(50x200mm)を使用した。評価結果を表2に示す。評価試験の結果、ワイヤーボンディングのボンディング強度および封止樹脂のせん断剥離強度を本発明のプラズマ処理により改善できることがわかった。

【0054】

【表2】

|                         |                                      | 実施例                 |                     |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                         |                                      | 5                   | 6                   |
| 電極                      | 電極材料                                 | ステンレス鋼パイプ           | 銅パイプ                |
|                         | 誘電体層の材料                              | TiO <sub>2</sub> 溶射 | TiO <sub>2</sub> 溶射 |
|                         | 平均表面粗さ Ra (μm)                       | 20                  | 50                  |
|                         | 誘電体層の厚さ (μm)                         | 200                 | 500                 |
|                         | 電極間距離 (mm)                           | 1                   | 1                   |
|                         | 曲面Rの曲率半径 (mm)                        | 10                  | 10                  |
| 冷却材                     |                                      | フリナートFC-77          | フリナートFC-77          |
| プラズマ生成用ガス               | He流量 (リットル/分)                        | 8                   | 1                   |
|                         | Ar流量 (リットル/分)                        | 9                   | 3                   |
|                         | O <sub>2</sub> 流量 (cc/分)             | 100                 | 50                  |
| プラズマ生成条件                | 交流電源の周波数 (MHz)                       | 13.56               | 13.56               |
|                         | 印加電力 (W)                             | 1000                | 300                 |
|                         | 電極温度 (°C)                            | 200                 | 200                 |
|                         | プラズマの単位体積当たりの電力 (W/cm <sup>3</sup> ) | 200                 | 100                 |
| 評価結果                    |                                      | プラズマ処理              |                     |
| 水の接触角 (°)               |                                      | なし                  | 80                  |
|                         |                                      | 実施                  | 8                   |
| ワイヤーボンディングのボンディング強度 (g) |                                      | なし                  | 5                   |
|                         |                                      | 実施                  | 8                   |
| 封止樹脂のせん断剥離強度 (MPa)      |                                      | なし                  | 11                  |
|                         |                                      | 実施                  | 20                  |

【0055】＜実施例7＞図1に示すプラズマ処理装置を使用して、プラズマ処理を実施した。誘電体層6として厚さ500μmのチタニア層を有するステンレス鋼製パイプを電極1、2として使用した。電極の平均表面(周表面)粗さは、50μmである。誘電体層6は、セラミック溶射法により作成した。電極間距離は、0.5mmである。電極1、2の各々の曲面Rの曲率半径は、10mmである。プラズマ生成用ガスとしては、ヘリウム、アルゴン、酸素およびCF<sub>4</sub>の混合ガスを使用した。ヘリウムの流量は、1リットル/分であり、アルゴンの流量は、3リットル/分であり、酸素の流量は、100cc/分であり、CF<sub>4</sub>の流量は50cc/分である。

【0056】電極1を接地し、電極2を周波数が13.56MHzの交流電源13に接続した。電極間に交流電圧(印加電力:1000W)を印加することにより大気圧プラズマ3を生成させた。電極の表面温度は、プラズマエッチング処理中、赤外放射温度計により測定した。電極の表面温度は、200℃であった。プラズマの単位体積当たりの電力は、100W/cm<sup>3</sup>であった。

【0057】本実施例においては、半導体チップ上に形成されたSn-Ag半田バンプの表面およびNi/Auメタライズ基板のメタライズ部を被処理物4とした。半導体チップとNi/Auメタライズ基板の位置合わせを大気中で行った後、ベルト炉中、窒素雰囲気下(酸素濃度80ppm)、230℃の条件でリフローを実施した。プラズマ処理を半導体チップとNi/Auメタライズ基板のそれぞれに実施しなかった場合、半導体チップをNi/Auメタライズ基板に接合することができなかったが、プラズマ処理を半導体チップとNi/Auメタライズ基板のそれぞれに実施することにより、半導体チップとNi/Auメタライズ基板との間に良好な接合を得ることができた。本実施例の実験条件および評価結果を表3に示す。

【0058】＜実施例8＞図5に示すプラズマ発生器10を使用していることを除いて実質的に図1の装置と同じプラズマ処理装置を使用して、プラズマ処理を実施した。電極1A、2Aの各々は、三角形断面を有するステンレス鋼製パイプ上に誘電体層6としてアルミナ層を形成することにより作成した。ステンレス鋼製パイプの肉厚は、1mmであり、三角形断面の一辺の長さは、10mmである。各電極の頂点部には、曲面Rが設けられており、放電空間22がこれらの曲面R間に定義される。曲面Rの曲率半径は、3mmである。電極間距離は、1mmである。誘電体層6は、セラミック溶射法により厚みが500μmになるように形成された。電極の平均表面(周表面)粗さは、50μmである。電極の下部に配置された一対のプラズマガイド部材50は、テフロン製である。プラズマガイド部材50の斜辺の長さは、15mmである。プラズマ処理中、冷却材9としてイオン交換水を電極内部に循環させた。被処理物4としては、シリコンウエハーに厚さ1μmのネガ型レジスト(東京応化製のOMR-83)を塗布して形成したものを使用した。プラズマ生成用ガスとしては、ヘリウムおよび酸素の混合ガスを使用した。ヘリウムの流量は、10リットル/分であり、酸素の流量は、100cc/分である。

【0059】電極1を接地し、電極2を周波数が100kHzの交流電源13に接続した。電極間に交流電圧(印加電力:1500W)を印加することにより大気圧プラズマ3を生成させた。このプラズマ3を使用して被処理物4にエッチング処理を実施した。処理後、被処理物上に熱的ダメージやストリーマー放電による損傷は観察さ

れなかった。本実施例の実験条件および評価結果を表3に示す。

【0060】<実施例9> 図9に示すプラズマ処理装置を使用してプラズマ処理を実施した。電極1、2の各々は、表面に誘電体層6を有する外径6.35mmのステンレス鋼(JIS: SUS316)製円筒パイプである。誘電体層6は、融着法により形成した。すなわち、シリカ、マグネシア、アルミナを主成分とするフリットを溶媒中に添加し、得られた混合物の150gをスプレーガンを使用してステンレス鋼製パイプ上に吹き付けた。得られた被膜を850℃で10分間加熱し、ステンレス鋼製パイプに融着させた。電極間距離は、1mmである。処理容器60は、アクリル製で長さ520mm×幅352mm×高さ200mmである。電極1、2の各々は、処理容器60の側壁に設けられたホルダー(図示せず)によって支持される。搬送手段11が処理容器60内部の電極下方に配置される。この搬送手段11は、複数のテフロン製の丸棒、処理容器の外部に配置されるモーター、プーリーおよびゴムベルトで構成される。処理容器の扉構造としては、空圧式で開閉機構を有するインライン型扉63を採用した。反応容器の内部は、Oリングのようなパッキング部材で気密性が保たれている。

【0061】被処理物4としては、厚み0.7mm×200mm×300mmの液晶用ガラス板を使用した。電極1を接地し、電極2を周波数が100kHzの交流電源13に接続した。電極間に交流電圧(印加電力: 1000W)を印加することにより大気圧プラズマ3を生成させた。プラズマ処理中、冷却材9として純水を電極内部に循環させた。プラズマ生成用ガスとしては、ヘリウムと酸素の混合ガスを使用した。ヘリウムの流量は、10リットル/分であり、酸素の流量は、100cc/分である。電極1、2と被処理物4との間の距離は5mmである。搬送手段11による被処理物4の搬送速度は、15mm/秒である。このプラズマを使用して被処理物4にプラズマ処理(表面改質およびクリーニング)を実施した。

【0062】本実施例においては、以下の評価試験を実施した。まず、液晶用ガラス板上における水の接触角をプラズマ処理前に測定した。この時の接触角は、45度であった。そして、プラズマ処理後にも同様に水の接触角を測定した。この時の接触角は、6度であった。このように、プラズマ処理により液晶用ガラス板上における水の接触角を低減できた。水の接触角の低減は、良好なワイヤボンディング強度を提供するだろう。本実施例の実験条件および評価結果を表3に示す。

【0063】

【表3】

|                             |                                      | 実施例                 |                                   |           |
|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------|
|                             |                                      | 7                   | 8                                 | 9         |
| 電極                          | 電極材料                                 | ステンレス鋼パイプ           | ステンレス鋼パイプ                         | ステンレス鋼パイプ |
|                             | 誘電体層の材料                              | TiO <sub>2</sub> 溶射 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 溶射 | 玻璃        |
|                             | 平均表面粗さ Ra (μm)                       | 50                  | 50                                | 50        |
|                             | 誘電体層の厚さ (μm)                         | 500                 | 500                               | 500       |
|                             | 電極間距離 (mm)                           | 0.5                 | 1                                 | 1         |
|                             | 曲面Rの曲率半径 (mm)                        | 10                  | 3                                 | 3.175     |
| 冷却材                         |                                      | 使用せず                | イオン交換水                            | 純水        |
| プラズマ生成用ガス                   | He 流量 (リットル/分)                       | 1                   | 10                                | 10        |
|                             | Ar 流量 (リットル/分)                       | 3                   | 使用せず                              | 使用せず      |
|                             | O <sub>2</sub> 流量 (cc/分)             | 100                 | 100                               | 100       |
|                             | CF <sub>4</sub> 流量 (cc/分)            | 50                  | 使用せず                              | 使用せず      |
| プラズマ生成条件                    | 交流電源の周波数                             | 18.56 MHz           | 100 kHz                           | 100 kHz   |
|                             | 印加電力 (W)                             | 1000                | 1500                              | 1000      |
|                             | 電極温度 (°C)                            | 200                 | 200                               | 80        |
|                             | プラズマの単位体積当たりの電力 (W/cm <sup>3</sup> ) | 100                 | 1100                              | 115       |
| 評価結果                        |                                      | プラズマ処理              |                                   |           |
| 半導体チップとNi/Auメタライズ基板との間の接合状態 | なし                                   | 接合不可                | -----                             | -----     |
|                             | 実施                                   | 良好                  | -----                             | -----     |
| 液晶用ガラス板上の水の接触角 (°)          | なし                                   | -----               | -----                             | 45        |
|                             | 実施                                   | -----               | -----                             | 6         |
| ストリーマー放電による損傷の有無            |                                      | なし                  | なし                                | なし        |

【0064】

【発明の効果】上記したように、少なくとも一対の電極と、電極間に定義される放電空間にプラズマ生成用ガスを供給するガス供給手段と、電極間に交流電圧を印加して、放電空間にプラズマ生成用ガスのプラズマを生成するための電力供給手段とを含み、一対の電極の少なくとも一方がその外表面に誘電体層を有するプラズマ処理装置において、一対の電極の少なくとも一方が放電空間に突出する曲面を有するので、プラズマ処理中、ストリーマー放電の発生を抑制できるとともに、少ない電力で大きなプラズマ密度を得ることができ、結果的に放電空間の下流側に配置された被処理物の大面積を効率良くプラズマ処理できるという効果を奏するものである。

【0065】また、上記プラズマ処理装置を用いて実施されるプラズマ処理方法は、電極間の放電空間にプラズマ生成用ガスを供給する工程と、電極間に交流電圧を印加して放電空間にプラズマ生成用ガスの大気圧プラズマを生成する工程と、大気圧プラズマで被処理物を処理する工程とを含むものであり、ストリーマ放電による損傷を被処理物に与えることなく、大気圧プラズマの使用により高効率で被処理物のプラズマ処理を実施できるという効果を奏するものである。尚、本発明のプラズマ処理は、被処理物の表面に存在する有機物のクリーニング、レジストの除去、有機材料フィルムのエッチング、シリコン等のエッチング処理、金属酸化物の還元、液晶用ガラス基板の表面クリーニング等の種々の表面処理において上記効果を達成するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図である。

【図2】図1のプラズマ処理装置のプラズマ発生器を示す概略断面図である。

【図3】図1のプラズマ処理装置のプラズマ発生器の外観を示す斜視図である。

【図4】(a)は、円筒状電極間に形成されるプラズマを示す図であり、(b)は、平板電極間に形成されるプラズマを示す図である。

【図5】本発明のプラズマ処理装置の別のプラズマ発生器を示す概略断面図である。

【図6】本発明のプラズマ処理装置の電極構造の変更例を示す図である。

【図7】本発明のプラズマ処理装置の電極構造のさらなる変更例を示す図である。

【図8】複数のプラズマで被処理物を処理できる本発明のプラズマ発生器の一例を示す概略断面図である。

【図9】複数のプラズマで被処理物を処理できる本発明のプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図である。

【図10】図9のプラズマ処理装置の変更例を示す概略断面図である。

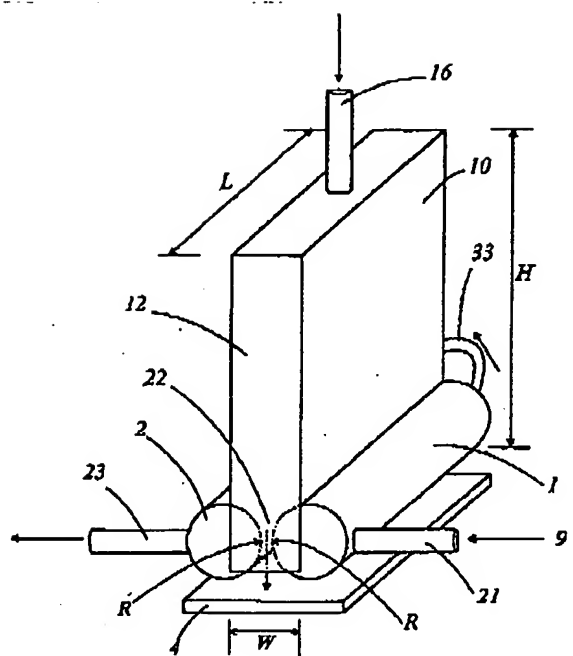
【符号の説明】

- 1 電極
- 2 電極
- 3 プラズマ
- 4 被処理物
- 5 ガス供給ユニット
- 6 誘電体層
- 7 制御手段
- 9 冷却材
- 10 プラズマ発生器
- 11 搬送手段
- 12 ガス供給容器
- 13 交流電源
- 14 支持部材
- 15 ガス供給ライン
- 16 ガス導入口
- 20 冷却材供給ユニット
- 24 電極温度測定ユニット
- 27 モニター
- 30 マイクロコンピューター
- 40 赤外線透過窓

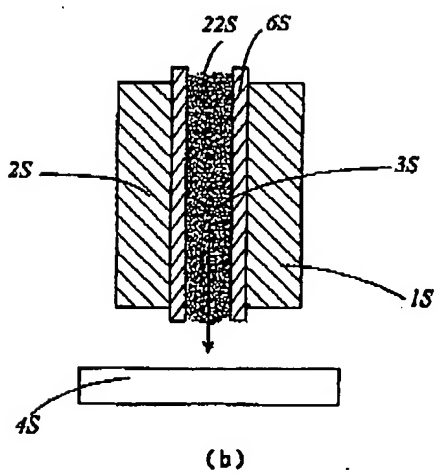
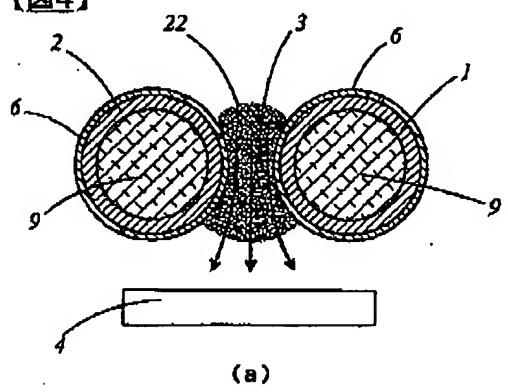
【図1】



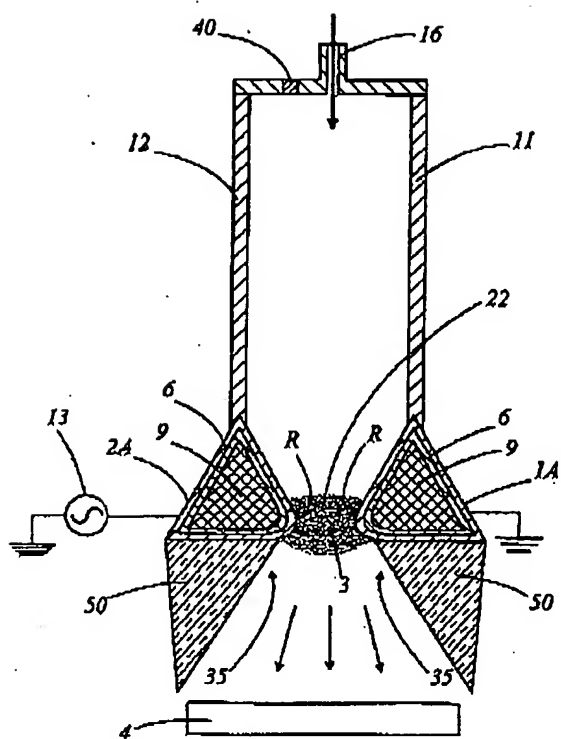




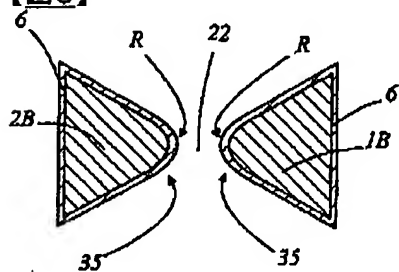
【図4】



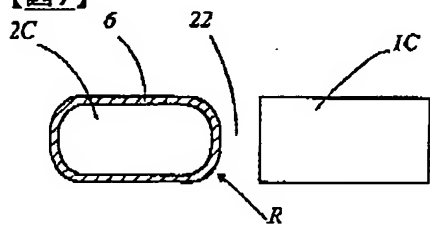
【図5】



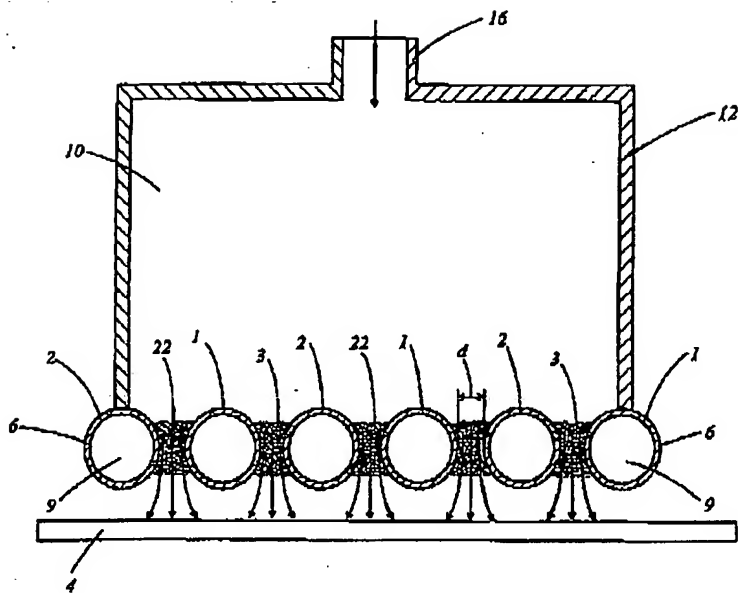
【图6】



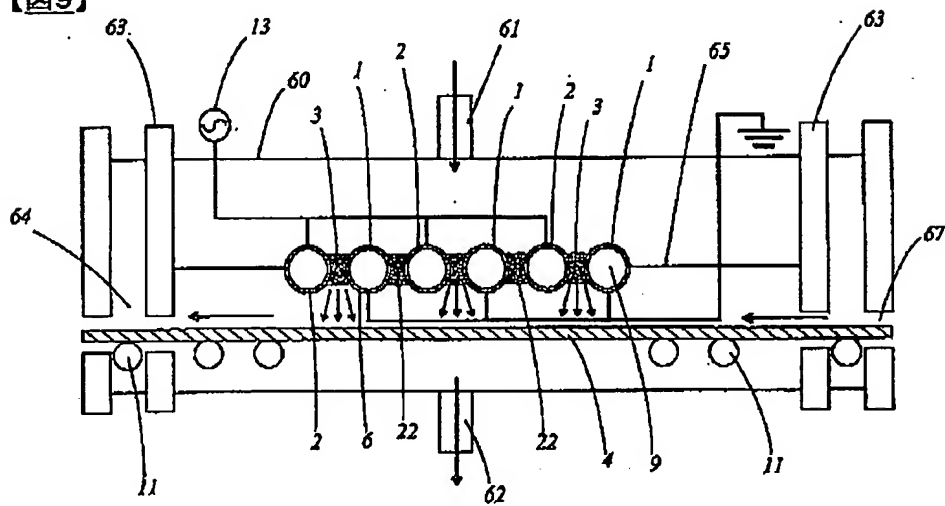
【图7】



【图8】



【图9】



【图10】

